

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局(43) 国際公開日
2005 年 9 月 15 日 (15.09.2005)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2005/086389 A1

- (51) 国際特許分類: H04B 10/12,
G02B 6/42, H04B 10/13, 10/135, 10/14
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2005/003769
- (22) 国際出願日: 2005 年 3 月 4 日 (04.03.2005)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願2004-060562 2004 年 3 月 4 日 (04.03.2004) JP
特願2004-290184 2004 年 10 月 1 日 (01.10.2004) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 株式会社
中川研究所 (NAKAGAWA LABORATORIES, INC.)
[JP/JP]; 〒1410031 東京都品川区西五反田 2-1 5-9
ブルーベルビル 5 F Tokyo (JP).

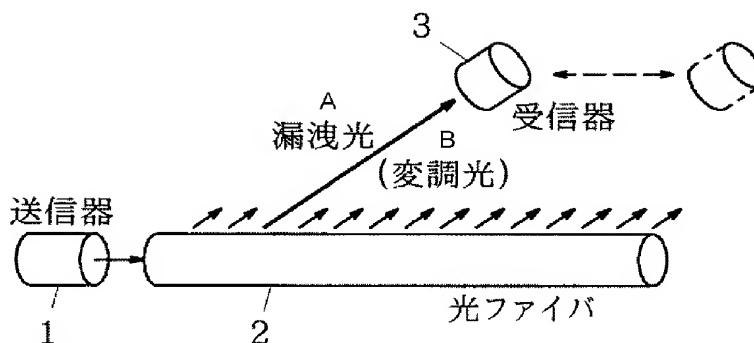
(HARUYAMA, Shinichiro) [JP/JP]; 〒2490004 神奈川県
逗子市沼間 3 丁目 2 7 番 4 3 号 Kanagawa (JP). 菅
原靖夫 (SUGAWARA, Yasuo) [JP/JP]; 〒2230065 神奈
川県横浜市港北区高田東 3 丁目 2 番 3 号 綱島ダイヤ
モンドパレス 6 0 3 Kanagawa (JP). 中川正雄 (NAKA-
GAWA, Masao) [JP/JP]; 〒2250001 神奈川県横浜市青
葉区美しが丘西 3 丁目 3 8 番 1 7 号 Kanagawa (JP). 小
池康博 (KOIKE, Yasuhiro) [JP/JP]; 〒2250024 神奈川
県横浜市青葉区市が尾町 5 3 4-2 3 Kanagawa (JP).
石樽崇明 (ISHIGURE, Takaaki) [JP/JP]; 〒2270043 神
奈川県横浜市青葉区藤が丘 2 丁目 2 9 番 1 1 号 ロ
イヤルハイツ藤が丘 5 1 1 Kanagawa (JP). 鈴木弘真
(SUZUKI, Hiromasa) [JP/JP]; 〒2540061 神奈川県平塚
市御殿 3 丁目 2 7 番 3 4 号 Kanagawa (JP). 志村彰洋
(SHIMURA, Akihiro) [JP/JP]; 〒2110025 神奈川県川
崎市中原区木月 1 9 2 2-3 メゾン・ド・ヴェリテ
4 0 8 Kanagawa (JP).

- (72) 発明者; および
(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 春山真一郎

[続葉有]

(54) Title: COMMUNICATIONS SYSTEM AND LEAKAGE OPTICAL FIBER

(54) 発明の名称: 通信システム及び漏洩光ファイバ



- 1... TRANSMITTER
A... LEAKED LIGHT
3... RECEIVER
B... (MODULATION LIGHT)
2... OPTICAL FIBER

(57) Abstract: [PROBLEMS] A communications system implementing a high-speed, high-quality communication in an oblong communication range such as communication with a mobile body or the like, and a leakage optical fiber suitably used in such a communications system. [MEANS FOR SOLVING PROBLEMS] The optical fiber (2) is a GI type optical fiber having a core so constituted that a refractive index at its center is large and it is gradually reduced toward its periphery, and may permit the mixing of a scatterer. A modulation light sent from a transmitter (1) into the optical fiber (2) travels through the optical fiber (2) with part of it leaking from the side surface of the optical fiber (2). A receiver (3) receives this leaked light and demodulates it to capture information. Being of a GI type, the optical fiber (2) is small in waveform rounding and permits a high-speed, high-quality mobile communication.

[続葉有]

WO 2005/086389 A1



(74) 代理人: 加古進 (KAKO, Susumu); 〒1700013 東京都豊島区東池袋三丁目 1 番 4 号 メゾンサンシャイン 902 Tokyo (JP).

(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

規則4.17に規定する申立て:

— AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA,

MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW, ARIPO 特許 (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア特許 (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ特許 (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI 特許 (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG)の指定のための出願し及び特許を与えられる出願人の資格に関する申立て (規則4.17(ii))
— USのみのための発明者である旨の申立て (規則4.17(iv))

添付公開書類:

— 国際調査報告書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

(57) 要約: [課題] 移動体などとの通信のように細長い通信範囲での高速、高品質の通信を実現した通信システムを提供するとともに、そのような通信システムで用いて好適な漏洩光ファイバを提供する。[解決手段] 光ファイバ2は、中心の屈折率が大きく、周辺に向かうに従って徐々に屈折率が低くなるようにコアが構成されたG1型の光ファイバであり、散乱体を混入しておくことができる。送信器1から光ファイバ2へ変調光が入射すると、変調光は光ファイバ2内を進行するが、一部が光ファイバ2の側面から漏洩する。受信機3は、この漏洩光を受光し、復調して情報を得る。光ファイバ2がG1型であることから、波形のなまりが少なく、高速、高品質の移動体通信が可能である。

明 細 書

通信システム及び漏洩光ファイバ

技術分野

[0001] 本発明は、移動体との通信などのように、細長い領域において通信を行うための通信システムと、その通信システムに用いる光ファイバに関するものである。

背景技術

[0002] 移動体通信などのように細長い通信範囲において情報を送信する技術として、従来より漏洩同軸ケーブル(LCX:Leaky Coaxial Cable)を用いて電波による通信を行う技術がある。漏洩同軸ケーブルは、同軸ケーブルの外部導体にスロットを周期的に設けて、ケーブルの内部を伝播するVHF帯の電波の一部を外部に輻射させるようにしたものである。輻射電界は、ほぼ円対称になっており、発生した電界を利用してケーブルの周囲で、道路、鉄道などの限られた範囲の通信に利用されている。

[0003] しかし、この技術は、高周波で減衰が大きくなるという欠点や、通信速度が遅いという欠点がある。例えば新幹線で実用化されている技術では、1チャンネルの通信速度は64kbpsであり、40チャンネルを用いて通信を行うので、合計2.56Mbps程度の通信速度である。この通信速度は、現在の地上の有線方式と比較するとはるかに遅い。

[0004] 一方、高速、大容量の通信を行うための伝送路として、光ファイバが多く用いられている。光ファイバの種類として大きくわけて二種類ありStep Index型(SI型)光ファイバとGraded Index型(GI型)光ファイバがある。図11は、SI型光ファイバの説明図である。SI型光ファイバは、屈折率がコアとクラッド(図11ではコアのみを示し、クラッドは省略してある)の境界面ではっきりと二分されており、光はコアの境界面でスネルの法則にしたがって全反射しながらファイバ内を進行する。光の軌跡が中心線沿いを通り、境界面に反射しないで進行した場合に、一番早い時間で出口にたどり着く。しかし、境界面で複数回反射しながら進行した場合、軌跡が中心線よりも長いため、出口にたどり着く時間が長くなることになる。

[0005] このように様々の方向で進行した光が出口で混ざるので、図11に示したように、せ

っかく入り口では短くてシャープだった光パルスも出口にたどり着くとその信号の立ち上がり速度、立下り速度が遅くなってしまう、結果として高速なデータ通信を行うことが出来ない。

[0006] 図12は、GI型光ファイバの説明図である。GI型光ファイバでは、図12に示すように、中心の屈折率が大きく、周辺に向かうに従って徐々に屈折率が低くなるように構成されている。このような構成によって、光の軌跡は屈折率の変化に応じて緩やかに蛇行する。しかも様々な方向をもった軌跡の光が同じタイミングで末端まで運ばれるという特性を有している。つまり、光の軌跡が中心を通過して進行した場合と、大きく蛇行して進行した場合とで、軌跡の長さは異なるが、伝播時間を同じにすることが出来る。従って、一端から入射した短くてシャープな光パルスは出口にたどり着いても、その波形はほとんどひずむことなく保存される。その結果、高速なデータ通信を行うことができ、また伝送距離を伸ばすこともできる。

[0007] このような光ファイバを用いた通信は、光を用いてデータを通信線の端から端まで、光を漏洩させないで送信することを目的とするものである。光が漏洩すると、それは伝送損失となるため、いかに光を漏洩させないで端から端まで光を届けるかが、光ファイバの中心的な技術であった。

[0008] 旧来の光ファイバ技術では、通信用としては端から端まで光を届けることが第一義であり、なるべく光が漏洩しないようにしている。逆に、光が漏洩してしまう光ファイバは通信用としては利用されることはなく、そのような漏洩光を照明やディスプレイなどに応用することが考えられているのみである。

[0009] 図13は、照明用の光ファイバの一例の説明図である。図中、41はSI型光ファイバ、42は散乱体である。照明用の光ファイバとしては、例えば図13に示すように、SI型光ファイバ41に散乱体42を混入し、SI型光ファイバ41内で光を散乱させ、周囲から光を漏洩させている。これによって漏洩する光量を増やすことができる。また、別の方法として、コアの側面に白色のペイントやフィルムを密着させ、コアの境界面で光を散乱させて外部に漏洩させる方法などもある。

[0010] これらの光を漏洩させる光ファイバにおいては、上述のように照明やディスプレイなどへの応用は考えられているものの、通信に使用することは考えられていなかった。

また、上述のような光を漏洩する光ファイバを通信に利用しても、高速な通信を行うことができない。図14は、照明用の光ファイバを通信に利用した場合の問題点の説明図である。上述のように照明用などの光を漏洩する従来の光ファイバでは、SI型の光ファイバを用い、あるいはさらに散乱体を混入して構成されている。光ファイバに入射した光はファイバのコア内をさまざまな方向に直進して境界面で反射しながら進行し、散乱体で反射、屈折などがおこると進行方向を変える。変えられた進行方向がスネルの法則による全反射の角度よりも深い場合は全反射せずに境界面から外に光が漏洩する。光が散乱されずにファイバ内を長距離間境界面で反射を繰り返しながら進行した場合、従来のSI型光ファイバと同様に短い光パルスは波形がなまってしまう、より遅い立ち上がり時間と立ち下がり時間をもつパルスになる。この波形は、漏洩してファイバの外に出てきた光でも同様であり、立ち上がり、立ち下がりの遅い漏洩光パルスになる。以上のような理由から、SI型漏洩光ファイバを高速通信用の漏洩光ファイバとして使うことは難しい。

[0011] 従来のGI型やSI型とは異なる構造では、散乱体を用いなくて光を漏洩させる光ファイバも考案されており、例えば特許文献1などに記載されている。図15は、従来の漏洩光ファイバの一例の説明図である。図中、51はセンターコア、52はセカンドコアである。図15に示した漏洩光ファイバでは、光ファイバのコアの外周にそのコアより屈折率の小さなクラッド(図示せず)を有する光ファイバであることは従来と変わらないが、そのコアを内側のセンターコア51と外側のセカンドコア52とで形成し、セカンドコア52をその径方向の屈折率分布が外周面へ向けて放物線状に大きくなるように形成したものである。また、ファイバに沿って長手方向に長く漏洩させるために、コアの屈折率を長手方向に0.06%/km以上の変動率で増加させたり、コアの径を長手方向に3%/km以上の変動率で減少させたりしている。しかしながら、このようなファイバを作成するには、センターコア51の外にセカンドコア52を作成しなければならず、また長手方向に屈折率を増減させたり径を変動させる必要があり、製造上、きわめて困難なものであった。

[0012] 以上のように、通信線の側面から通信情報を漏らす技術は電波用や光用に既に存在するが、性能や製造技術上様々な問題があり、高速な通信速度で通信でき、しか

も容易に製造できる技術というのは今まで発明されていなかった。

[0013] 特許文献1:特開2001-133652号公報

発明の開示

発明が解決しようとする課題

[0014] 本発明は、上述した事情に鑑みてなされたもので、移動体などとの通信のように細長い通信範囲での高速、高品質の通信を実現した通信システムを提供するとともに、そのような通信システムで用いて好適な漏洩光ファイバを提供することを目的とするものである。

課題を解決するための手段

[0015] 本発明は、通信システムにおいて、情報により変調された光を送通する光ファイバと、該光ファイバの側面から漏洩する光を受光して情報を取得する受信手段を有し、前記光ファイバは、中心の屈折率が大きく、周辺に向かうに従って徐々に屈折率が低くなるようにコアが構成されたGI型の光ファイバであることを特徴とするものである。GI型の光ファイバには、散乱体を混入して漏洩する光の強度を増すことができる。また、光ファイバの中心部と周辺部の屈折率との関係により漏洩光強度及び伝送距離を調整することができる。

[0016] なお、通信を行う際には、受信手段を移動体に設け、光ファイバは移動しない構成としたり、あるいは逆に光ファイバを移動体に設け、受信手段は移動しない構成として、光ファイバから漏洩する光を受信手段で受光することにより情報の送受信を行うことができる。

[0017] また本発明は、例えば本発明の通信システムに用いられる漏洩光ファイバにおいて、中心の屈折率が大きく、周辺に向かうに従って徐々に屈折率が低くなるようにコアが構成されたGI型の光ファイバであって、内部に散乱体が混入されていることを特徴とするものである。

発明の効果

[0018] 本発明によれば、移動体などとの通信のように細長い通信範囲での通信の際に、光を用いて行うので、従来の電波を用いた同様の通信に比べて、高速、高品質の通

信を行うことができる。このとき、GI型の光ファイバを用いるので、漏洩する光の波形が安定しており、より高速、高品質の通信を実現することができる。また、従来のような特殊な漏洩光ファイバを用いることはなく、低コストで通信システムを構築することができるという効果がある。

[0019] さらに、GI型光ファイバに散乱体を混入することによって、光ファイバから漏洩する光量を増加することができ、より確実な通信を実現することができるという効果がある。

発明を実施するための最良の形態

[0020] 図1は、本発明の通信システムの実施の一形態を示す概念図である。図中、1は送信器、2は光ファイバ、3は受信器である。送信器1は、送信する情報により変調された光を光ファイバ2に放出する。例えばレーザ・ダイオード(LD:Laser Diode)などを用い、レーザ光を光ファイバ2内に入射させるように構成することができる。もちろん光源はレーザ・ダイオードに限られるものではなく、LEDなど、高速に光量あるいは点滅を制御可能な光源であれば送信器1の光源として用いることができる。

[0021] 光ファイバ2は、中心の屈折率が大きく、周辺に向かうに従って徐々に屈折率が低くなるようにコアが構成されたGI型の光ファイバである。特に本発明の通信システムでは、GI型の光ファイバに散乱体を混入して、漏洩する光の強度を増した本発明の漏洩光ファイバを光ファイバ2として用いることができる。このような光ファイバ2の製造には、すでに確立されているGI型光ファイバの製造方法をそのまま利用することができ、容易に製造することができる。

[0022] 光ファイバ2の一端面に送信器1から入射された光は、光ファイバ2内を蛇行して進むが、一部は光ファイバ2の側面から漏洩する。これによって、光ファイバ2が設けられている細長い領域に、情報により変調された光が放出されることになる。

[0023] 受信器3は、光ファイバ2の側面から漏洩してくる変調光を受光し、復調して情報を受信する。光ファイバ2に沿った細長い領域では、同じ情報により変調された光が光ファイバ2から漏洩している。そのため、例えば受信器3と光ファイバ2とが相対的に移動している場合でも、光ファイバ2からの漏洩光を受信器3で受光することによって通信を続けることができる。

[0024] なお、光ファイバ2の送信器1とは反対側の端面に受光器と発光器を有する中継器

を設け、中継器の発光器から放射される光を別の光ファイバに送ることによって、非常に長距離の通信が可能である。

[0025] 図2は、本発明の通信システムで用いる光ファイバにおける光の漏洩原理の説明図である。11は散乱体である。図2(A)には、GI型の光ファイバに散乱体11を混入した本発明の漏洩光ファイバを用いた場合を示し、図2(B)には、従来のGI型光ファイバを用いた場合を示している。

[0026] 本発明の通信システムでは光ファイバ2としてGI型の光ファイバを用いているので、その特性上、送信器1から光ファイバ2に入射した光は、光ファイバ2内を蛇行して進む。光ファイバ2として本発明の漏洩光ファイバを用いる場合には、図2(A)中、黒丸で示している散乱体11に衝突すると反射、屈折が起こり、光の進路が変更される。進路が変更された光が、光ファイバ2の境界面に臨界角以下の入射角で到達すると、外部へ漏洩することになる。この漏洩した光を受信器3で受光すればよい。

[0027] 光が光ファイバ2内で散乱体による反射屈折を受けるまでは、従来のGI型光ファイバと同様に、同じタイミングで光ファイバ2内を蛇行して進行する。そのため、もし散乱体11に衝突して反射、屈折が起こり、その結果その進路が変更されて光ファイバ2の外に漏洩した場合でも、その漏洩した光も同じタイミングで光ファイバ2の外へ漏洩してくることになる。つまり、一端から入射した短くてシャープな光パルスは、途中でファイバ外に漏洩しても、その波形はほとんどひずむことなく保存される。したがって、高速、高品質なデータ通信を行うことができる。また、光が光ファイバ2内の散乱体11で複数回の反射、屈折を受けても、光ファイバ2外に漏洩せずに光ファイバ2内に残る可能性はきわめて少ないので、複数回の反射、屈折による遅延広がり(delay spread)は大きくはならない。

[0028] このような特徴は従来の漏洩光ファイバでは得られない特性である。また、GI型光ファイバは、ファイバ内を光を送通させることのみを目的として開発されてきており、GI型光ファイバから漏洩光を利用しようとする試みは今まで行われたことはない。GI型光ファイバを利用することによって、ギガビット級高速通信が可能になる。

[0029] 図2(A)に示した本発明の漏洩光ファイバにおいて、散乱体11の濃度を変えることで様々な特性の漏洩光ファイバを作成することができる。具体的には、散乱体11の

濃度を濃くすると、より多くの光が漏洩することになり、漏洩光のパワーは強くなる。しかし、多くの光が漏洩する分だけ伝送距離は短くなる。また、散乱体11の濃度を薄くすると、漏洩光のパワーは弱くなるが、伝送距離を延ばすことができる。その極端な例として、図2(B)に示すように散乱体11をあえて混入しない場合にも、光ファイバ2内の不純物が散乱体の代わりとなり、あるいは製造時のムラなどによって、少量の光が光ファイバ2から漏洩する。このことは実験的に確認されており、その微小な漏洩光を用いても通信を行うことができる。

[0030] 本発明の漏洩光ファイバの具体例について説明する。本発明の漏洩光ファイバとしては、例えばコアとしてPMMA (Poly Methyl Methacrylate) というメタクリル樹脂を使用し、散乱体として直径 $7.3\mu\text{m}$ のトスパール (tospearl) という球状をしたシリコン樹脂微粒子を使用することができる。これらの材料を用い、界面ゲル重合法によって、散乱体が混入したGI型の屈折率分布を持つ直径1mmの光ファイバを作成することができた。トスパールは、撥水性、潤滑性、耐熱性が優れており、粒子径が良く揃い、粒径分布がシャープなので、光の散乱体として適している。このような本発明の漏洩光ファイバに可視光の670nmの波長の可視光レーザーの赤い光を注入したところ、ファイバの表面から効率よく光が漏洩した。

[0031] 図3は、本発明の漏洩光ファイバの一例における端面からの距離と漏洩光強度分布の具体例を示すグラフである。図3では、本発明の漏洩光ファイバに100mWのレーザーを注入し、そのときの入射端からの距離を横軸に取り、漏洩光の強度(電力)を縦軸に取って、両者の関係を示している。また図3では、トスパールとPMMAとを異なる重量混合比(wt%)で混合して作成した複数の漏洩光ファイバについて、その漏洩光強度を測定した。その結果、散乱体であるトスパールが最も多く混合された重量混合比が0.1wt%の例では、入射端から5メートル程度で-50dBmまで漏洩光強度が落ちた。しかし、重量混合比が0.0001wt%の例では20メートル近くまで漏洩光がある程度出ていることがわかる。現在のAPD (Avalanche Photo Diode) の感度が-50dBm程度あるので、これを受信器3に使用すれば15メートル近くまで通信可能であることがわかる。逆に入射端に近い領域では、散乱体であるトスパールの混入量が多い方が漏洩光強度が大きいこともわかる。このように、散乱体の濃度を変

えることによって、漏洩光の強度を制御できることがわかる。

[0032] 図4は、散乱体を混入していないGI型の光ファイバの一例における端面からの距離と漏洩光強度分布の具体例を示すグラフである。図3に示した散乱体が混入されている本発明の光ファイバの場合と比較して、入射端に近い領域では漏洩光強度が小さいものの、より長距離まで光が漏洩しており、15メートルの距離では、0.0001wt%と比較して15dBほど漏洩光強度が強く、20メートル以上でも-35dBm程度の漏洩光強度があるので通信が可能であることがわかる。

[0033] 図5は、本発明の漏洩光ファイバにおける漏洩光の放射分布の一具体例の説明図である。図5(A)における角度 ϕ 1は、図5(B)に示しているように、光ファイバに垂直な方向から光ファイバ中の光の進行方向への角度を示している。図5に示したように角度 ϕ 1が約70°、つまりファイバの進行方向から角度20°の方向に最も強く光が漏洩していることがわかる。

[0034] 図6は、本発明の漏洩光ファイバにおいて漏洩光ファイバ中を伝送される波形の一例の説明図である。漏洩光ファイバの入射端から入射される光パルス波形が、入射端からの距離とともにどのように変化するかを図6に示している。ここではパルス幅が0.15nsecの光パルスを入射している。伝送距離とともにパルス幅は広がるが、光が25メートル程度進行しても0.5nsec程度にしか広がっておらず、ほとんど波形はなまっていないことがわかる。

[0035] 図7は、本発明の漏洩光ファイバにおける端面からの距離と帯域幅の具体例を示すグラフである。図7では、図6に示したような光パルス波形の測定結果をフーリエ変換し、3dB帯域幅を求めた結果を示している。この結果によれば、20メートルを超えても1GHz程度の帯域を確保することができる。従って、本発明の漏洩光ファイバを用いると20メートル程度の距離では1GHz以上の通信が可能であることがわかる。

[0036] このように、本発明の漏洩光ファイバを用いることによって、パルス波形の広がりほとんど起きずに、高速な通信を行うことが可能である。なお、上述の各測定結果は、試作したサンプルによるものであり、今後性能を改良する余地は十分に残されている。もちろん、光ファイバのコアの材質や、散乱体の材質及び径などは上述の具体例に限られるものでないことは言うまでもない。

- [0037] 図4にも示したように、散乱体を混入していないGI型の光ファイバを用いても、その漏洩光を用いて通信を行うことができる。このとき、光ファイバの中心部と周辺部の屈折率の関係により、漏洩光の強度と、伝送距離を調整することができる。光ファイバは一般に、その中心部と周辺部の屈折率の違いにより、光を内部で屈折させて伝送する。しかし、両者の屈折率で決まる最大角度(入射臨界角度 θ_{\max})以上の入射角度となると、光ファイバ内から外部への漏洩光として出射されることになる。
- [0038] 図8は、光ファイバへの入射角度とファイバ内での反射の関係の説明図である。本発明ではGI型の光ファイバを用いているが、説明を簡単にするため、図8ではSI型の光ファイバにより説明している。また、光ファイバの中心部であるコアの屈折率を n_2 とし、周辺部であるクラッドの屈折率を n_1 としている。一般に $n_1 < n_2$ である。
- [0039] 図8(A)に示すように、光ファイバへの入射角 θ が入射臨界角度 θ_{\max} より小さければ、コアとクラッドの屈折率の違いにより、コアとクラッドの境界において反射が起こり、入射光は光ファイバ内へと進む。光ファイバへの入射角が入射臨界角度 θ_{\max} の場合には、図8(B)に示すように、コアとクラッドの境界において、その境界の方向に屈折して進むことになる。そして、光ファイバへの入射角 θ が入射臨界角度 θ_{\max} よりも大きくなると、図8(C)に示すようにコアとクラッドの境界において屈折するものの、そのままクラッドを抜けて外部へ漏洩することになる。
- [0040] 上述の入射臨界角度 θ_{\max} は、コアの屈折率 n_2 とクラッドの屈折率 n_1 で決まり、

$$\theta_{\max} = n_1 \cdot \sqrt{(2 \cdot \Delta)}$$

$$\Delta = (n_1 - n_2) / n_1$$
で求めることができる。
- [0041] この入射臨界角度 θ_{\max} の正弦、つまり $\sin(\theta_{\max})$ を開口数(Numerical Aperture、以下、NAと略す)という。この開口数NAが大きいほど、光ファイバの一端から他端へ到達する光の損失が小さいことが知られている。逆に考えれば、開口数NAが小さいと、漏洩する光が増加すると考えることができ、漏洩光を用いた通信においては、信号強度を強めることができることになる。この場合、光の漏洩が到達距離を縮めることになる。
- [0042] このような関係はSI型の光ファイバに限られるものではなく、GI型の光ファイバにお

いても同様の関係がある。GI型の光ファイバの場合は中心から周辺に向けて徐々に屈折率が変化するが、その中心部の屈折率と周辺部の屈折率との関係において、上述のようなことが同様に言える。

[0043] 図9は、開口数NAの違いによる距離と漏洩光強度の関係の一例を示すグラフである。図9に示した例では、開口数NAが0.20と0.18の2種類のGI型光ファイバを用いた場合について、0〜20mの漏洩光強度の測定結果を示している。その結果、NA=0.18の場合は、NA=0.20の場合に比べて、15mまでは、より多くの光が漏洩しており、逆に15m以上では、漏洩光は少なくなっている。例えば強い漏洩光を必要とする場合には、開口数NAが小さい光ファイバを用いるとよく、より長距離での通信を行う場合には、開口数NAが大きい光ファイバを用いるとよいことが分かる。

[0044] このように、光ファイバの開口数NA(または入射臨界角度 θ_{\max})を調整する、すなわち光ファイバの中心部の屈折率 n_2 と周辺部の屈折率 n_1 を調整することによって、より強い漏洩光を得たり、逆により長距離の通信を行うといった調整が可能になる。

[0045] なお、散乱体を混入する場合には、その散乱体の影響の方が大きくなるが、もちろん、散乱体を混入した場合であっても、上述のように光ファイバの中心部の屈折率 n_2 と周辺部の屈折率 n_1 を調整することにより開口数NA(または入射臨界角度 θ_{\max})を調整し、漏洩光強度及び伝送距離を調整しても良い。

[0046] 図10は、本発明の漏洩光ファイバを用いた本発明の通信システムの応用例の説明図である。図中、21は固定ネットワーク、22は固定中継器、23は固定送信器、24は固定光ファイバ、25は固定受信器、31は移動体受信器、32は移動体中継器、33は移動体ネットワーク、34は移動体送信器、35は移動体光ファイバである。上述のような本発明の漏洩光ファイバを用いることによって、例えば移動体と地上との通信を行う通信システムを構築することができる。その一例として、図10には列車通信への応用例を示している。なお、図10に示した例は、図1に示すような一方向の通信システムを地上などの固定側と、列車などの移動体側にそれぞれ設け、双方向の通信を可能にしている。

[0047] 地上側には、固定ネットワーク21に接続された固定中継器22、及び、固定送信器23と固定光ファイバ24、固定受信器25などが設けられる。固定中継器22は固定ネ

ットワーク21から列車に送信すべき情報を取得し、その情報を固定送信器23に渡す。固定送信器23は、固定中継器22から受け取った情報に従って変調された変調光を固定光ファイバ24に入射させる。固定光ファイバ24は本発明の漏洩光ファイバであり、例えば線路脇や架線脇など、走行する列車の周辺に敷設される。固定送信器23から固定光ファイバ24に入射した変調光は、そのまま固定光ファイバ24内を進むが、その間に漏洩光が固定光ファイバ24の側面から漏洩する。

[0048] 一方、移動体である列車には、車内の移動体ネットワーク33に接続された移動体中継器32と、移動体受信器31、及び、移動体送信器34と移動体光ファイバ35などが設けられている。上述のように固定光ファイバ24からの漏洩光は、移動体受信器31によって受光することができる。これを移動体受信器31で復調することによって、情報を得ることができる。得られた情報は移動体中継器32に送られ、移動体ネットワーク33へと送出される。

[0049] このようにして、地上から列車への情報の送信を行うことができる。列車は高速に移動しているが、1本の固定光ファイバ24が設けられている区間においては同じ情報が送信されているので、列車が移動しても安定して固定光ファイバ24からの漏洩光を受光し、情報を受信することができる。

[0050] なお、図10に示すように固定光ファイバ24を連続して配置しておくことによって、列車は走行するにつれて隣接して設けられている固定光ファイバ24から漏洩光を受光し、情報を受信することができる。1本の固定光ファイバ24から大きな漏洩光強度を得られるのは、現在のところは上述のように数十メートル程度であるため、図10に示すようにある程度の長さの固定光ファイバ24を並べて配置することによって、長距離の線路であっても途切れることなく通信を行うことができる。

[0051] 列車内で地上へ送信すべき情報は、移動体ネットワーク33から移動体中継器32を通じて移動体送信器34へ送られる。移動体送信器34は、移動体中継器32から受け取った情報に従って変調された変調光を移動体光ファイバ35に入射させる。移動体光ファイバ35も本発明の漏洩光ファイバであり、列車の進行経路方向に設けられる。移動体送信器34から移動体光ファイバ35に入射した変調光は、そのまま移動体光ファイバ35内を進むが、その間に漏洩光が移動体光ファイバ35の側面から漏洩する

。

- [0052] この列車に設けられた移動体光ファイバ35からの漏洩光は、線路脇や架線脇などに設けられた固定受信器25によって受光され、復調されて情報が受信される。受信された情報は、固定中継器22を介し、固定ネットワーク21を通じて送信される。
- [0053] このようにして、列車から地上への情報の送信を行うことができる。列車は高速で移動しており、移動体光ファイバ35も移動するが、地上の受信器25上を移動体光ファイバ35の端から端まで通過するのにある程度の時間を要する。この時間の間においては安定した通信が可能である。地上側に移動体光ファイバ35の長さ以内の間隔で受信器25を設けておき、移動体光ファイバ35からの漏洩光を受光する受信器25を順次切り替えてゆくか、あるいはそれぞれの受信器25が受信できた情報を後でつなぎ合わせることにによって、列車からの情報を連続して受信することができる。
- [0054] 上述のようにして、地上から列車への通信と、列車から地上への通信とにより、双方向の通信を実現することができる。この場合、地上から列車への通信と、列車から地上への通信は、ほぼ同じギガビット以上の通信速度での高速通信を行うことができる。従来の新幹線における移動体通信の通信速度が全チャンネルの合計でも2.56Mbps程度であったのを考えれば、本発明の通信システムが格段に高速な通信が可能であることがわかる。これによって、乗客に対して様々なサービスを提供することができるし、また、列車制御などにおいても大量のデータ通信を利用した制御が可能になる。このような高速通信を行うためのインフラの整備は、本発明の漏洩光ファイバあるいは従来から用いられているGI型の光ファイバを敷設することになるが、本発明の漏洩光ファイバもGI型の光ファイバも、上述のように安価な材料で製造でき、しかも容易に製造可能であることから、インフラ整備に要するコストも抑えることができる。
- [0055] もちろん、移動体は列車に限られたものではなく、例えば自動車などにおいても、固定側として道路脇に光ファイバを敷設すれば同様に自動車と道路の間における高速通信を実現することができる。

図面の簡単な説明

- [0056] [図1]本発明の通信システムの実施の一形態を示す概念図である。
- [図2]本発明の通信システムで用いる光ファイバにおける光の漏洩原理の説明図で

ある。

[図3]本発明の漏洩光ファイバの一例における端面からの距離と漏洩光強度分布の具体例を示すグラフである。

[図4]散乱体を混入していないGI型の光ファイバの一例における端面からの距離と漏洩光強度分布の具体例を示すグラフである。

[図5]本発明の漏洩光ファイバにおける漏洩光の放射分布の一具体例の説明図である。

[図6]本発明の漏洩光ファイバにおいて漏洩光ファイバ中を伝送される波形の一例の説明図である。

[図7]本発明の漏洩光ファイバにおける端面からの距離と帯域幅の具体例を示すグラフである。

[図8]光ファイバへの入射角度とファイバ内での反射の関係の説明図である。

[図9]開口数NAの違いによる距離と漏洩光強度の関係の一例を示すグラフである。

[図10]本発明の漏洩光ファイバを用いた本発明の通信システムの応用例の説明図である。

[図11]SI型光ファイバの説明図である。

[図12]GI型光ファイバの説明図である。

[図13]照明用の光ファイバの一例の説明図である。

[図14]照明用の光ファイバを通信に利用した場合の問題点の説明図である。

[図15]従来の漏洩光ファイバの一例の説明図である。

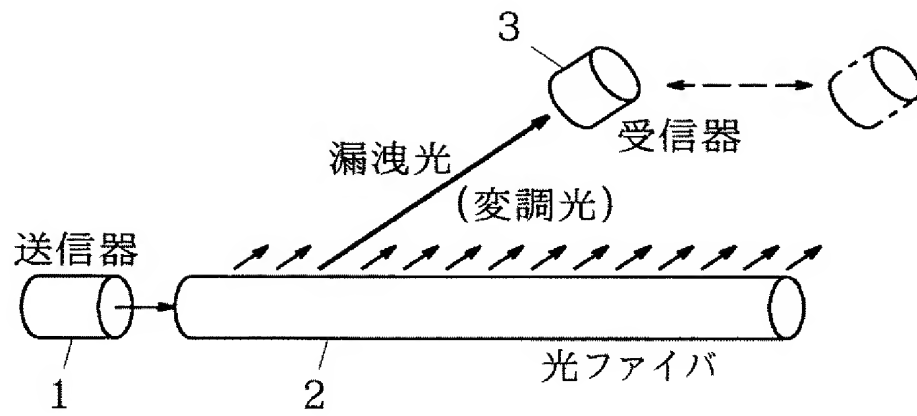
符号の説明

- [0057] 1…送信器、2…光ファイバ、3…受信器、11…散乱体、21…固定ネットワーク、22…固定中継器、23…固定送信器、24…固定光ファイバ、25…固定受信器、31…移動体受信器、32…移動体中継器、33…移動体ネットワーク、34…移動体送信器、35…移動体光ファイバ、41…SI型光ファイバ、42…散乱体、51…センターコア、52…セカンドコア。

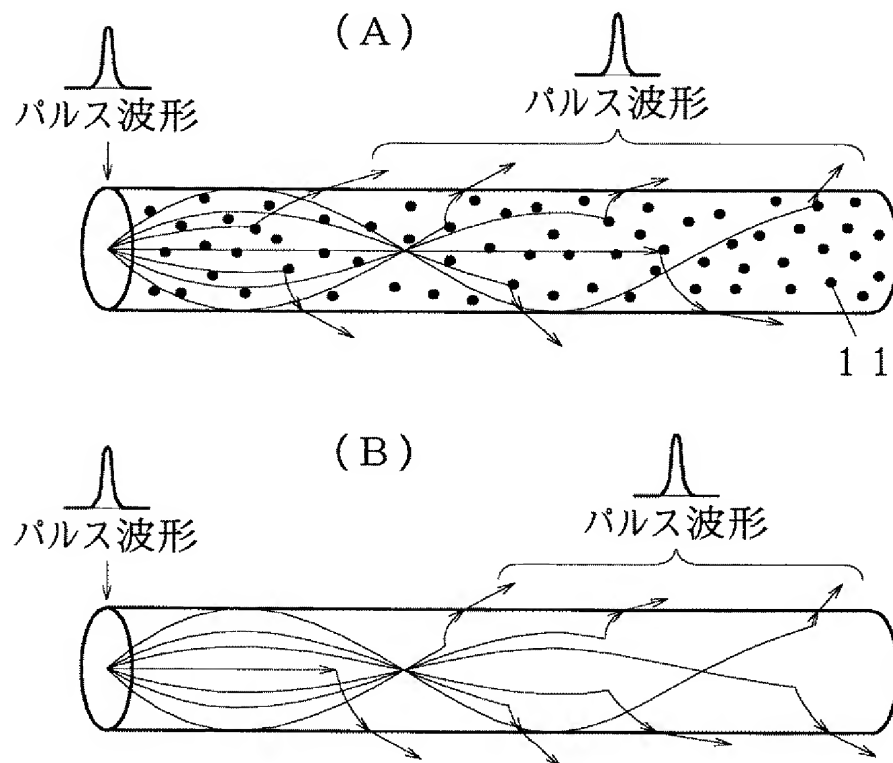
請求の範囲

- [1] 情報により変調された光を送通する光ファイバと、該光ファイバの側面から漏洩する光を受光して情報を取得する受信手段を有し、前記光ファイバは、中心の屈折率が大きく、周辺に向かうに従って徐々に屈折率が低くなるようにコアが構成されたGI型の光ファイバであることを特徴とする通信システム。
- [2] 前記光ファイバは、散乱体が混入されていることを特徴とする請求項1に記載の通信システム。
- [3] 前記光ファイバの中心部と周辺部の屈折率との関係により漏洩光強度及び伝送距離を調整することを特徴とする請求項1に記載の通信システム。
- [4] 前記受信手段が移動体に設けられ、前記光ファイバは移動しないことを特徴とする請求項1ないし請求項3のいずれか1項に記載の通信システム。
- [5] 前記光ファイバが移動体に設けられ、前記受信手段は移動しないことを特徴とする請求項1ないし請求項3のいずれか1項に記載の通信システム。
- [6] 中心の屈折率が大きく、周辺に向かうに従って徐々に屈折率が低くなるようにコアが構成されたGI型の光ファイバであって、内部に散乱体が混入されていることを特徴とする漏洩光ファイバ。

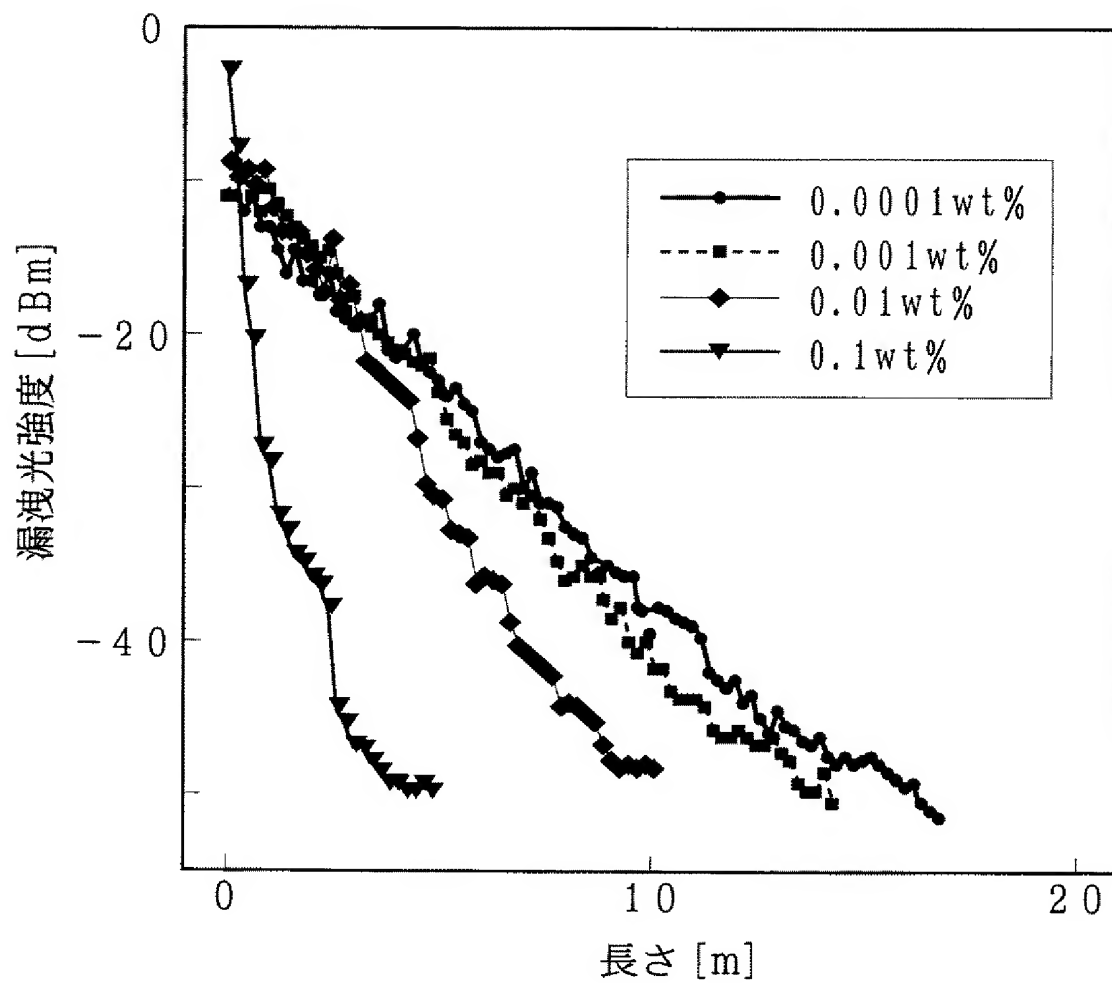
[図1]



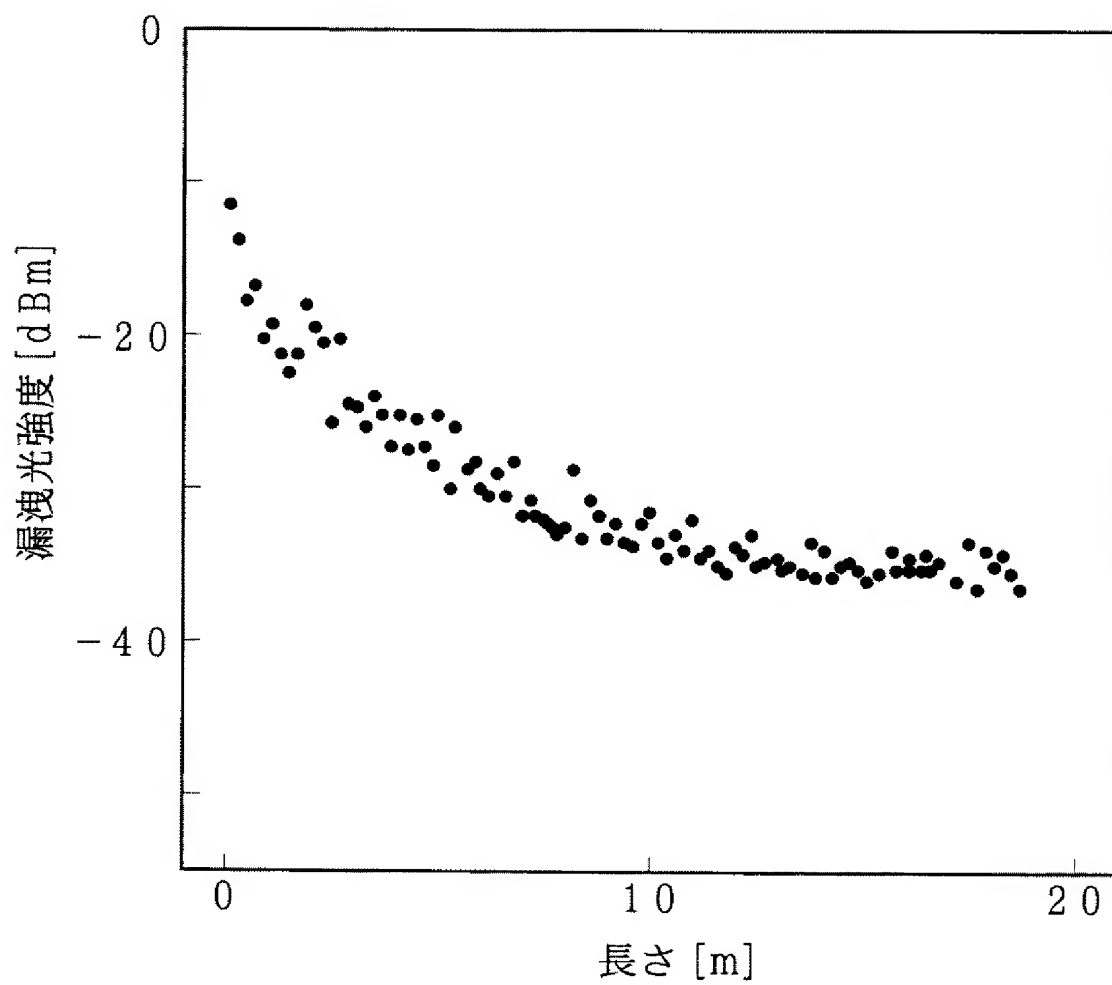
[図2]



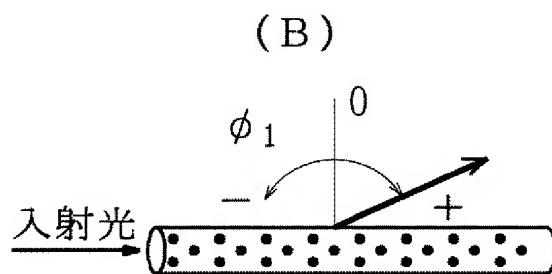
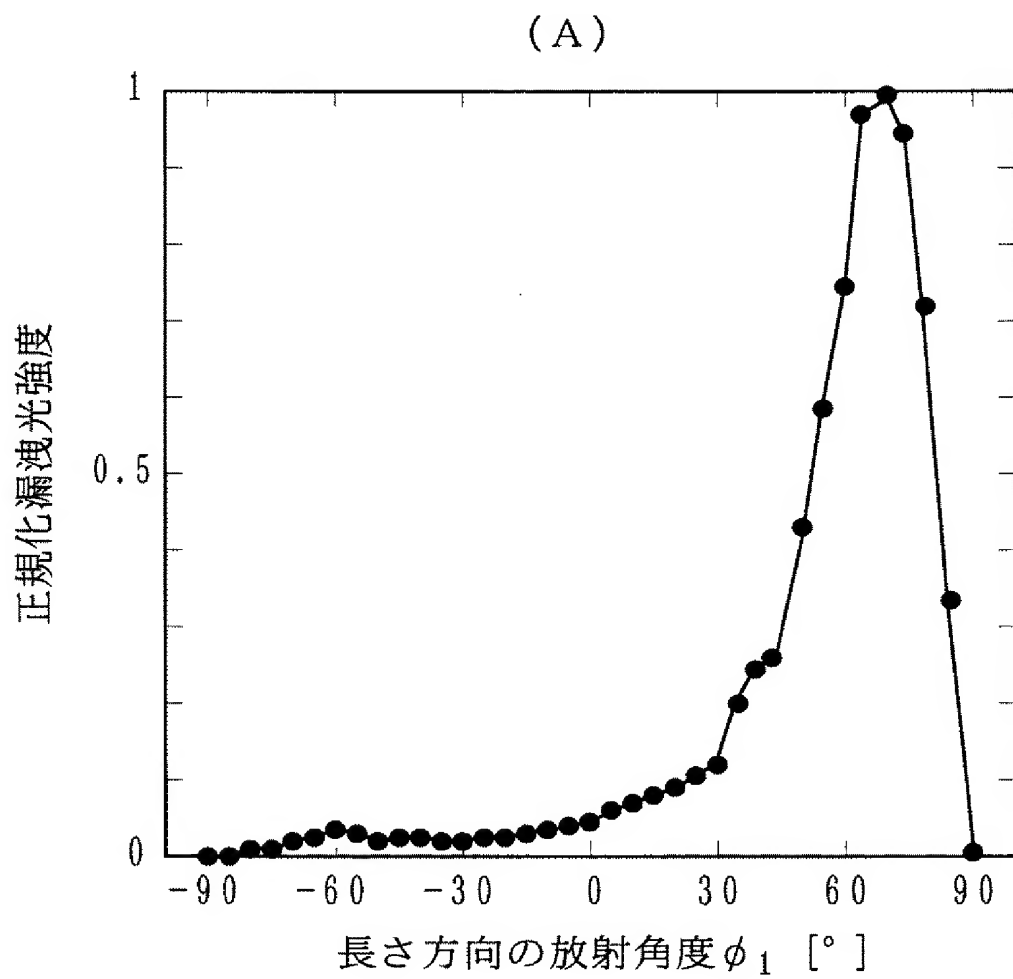
[図3]



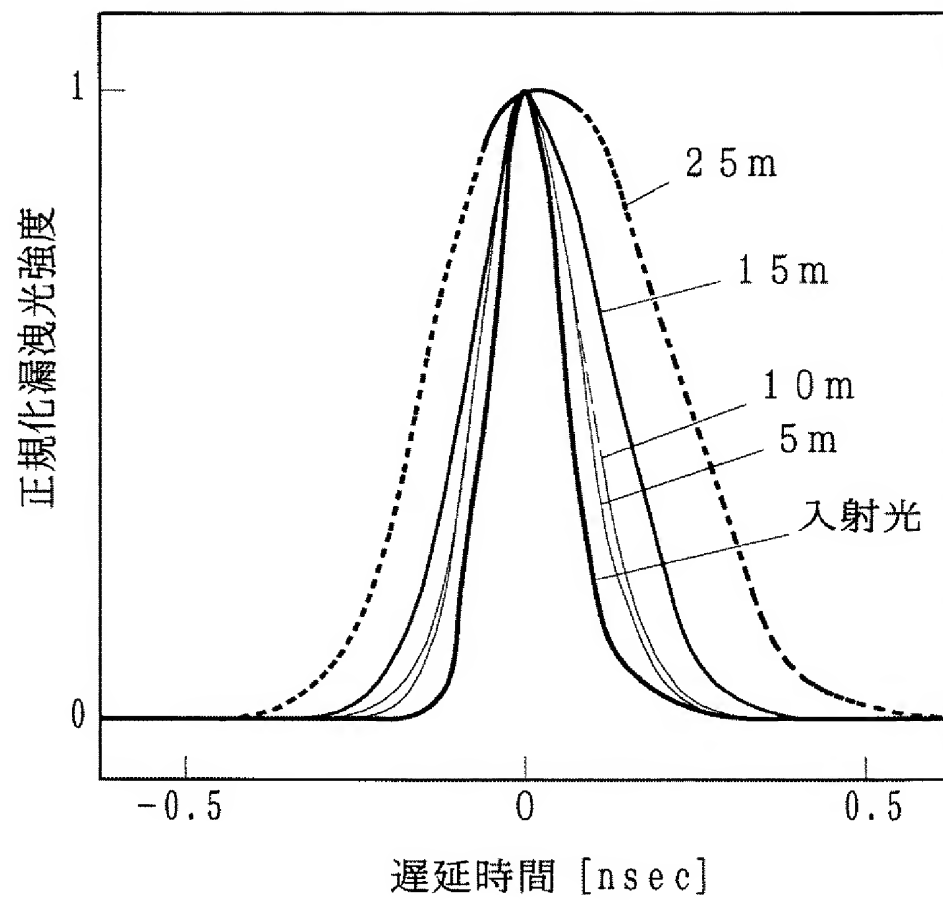
[図4]



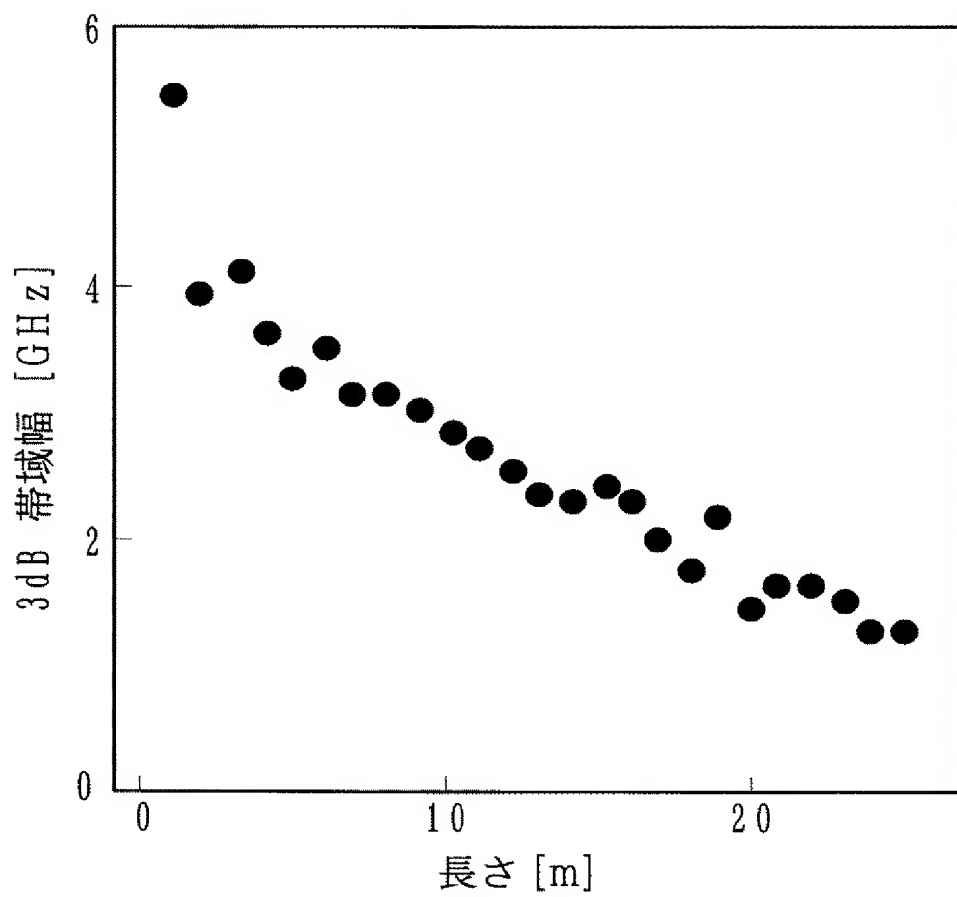
[図5]



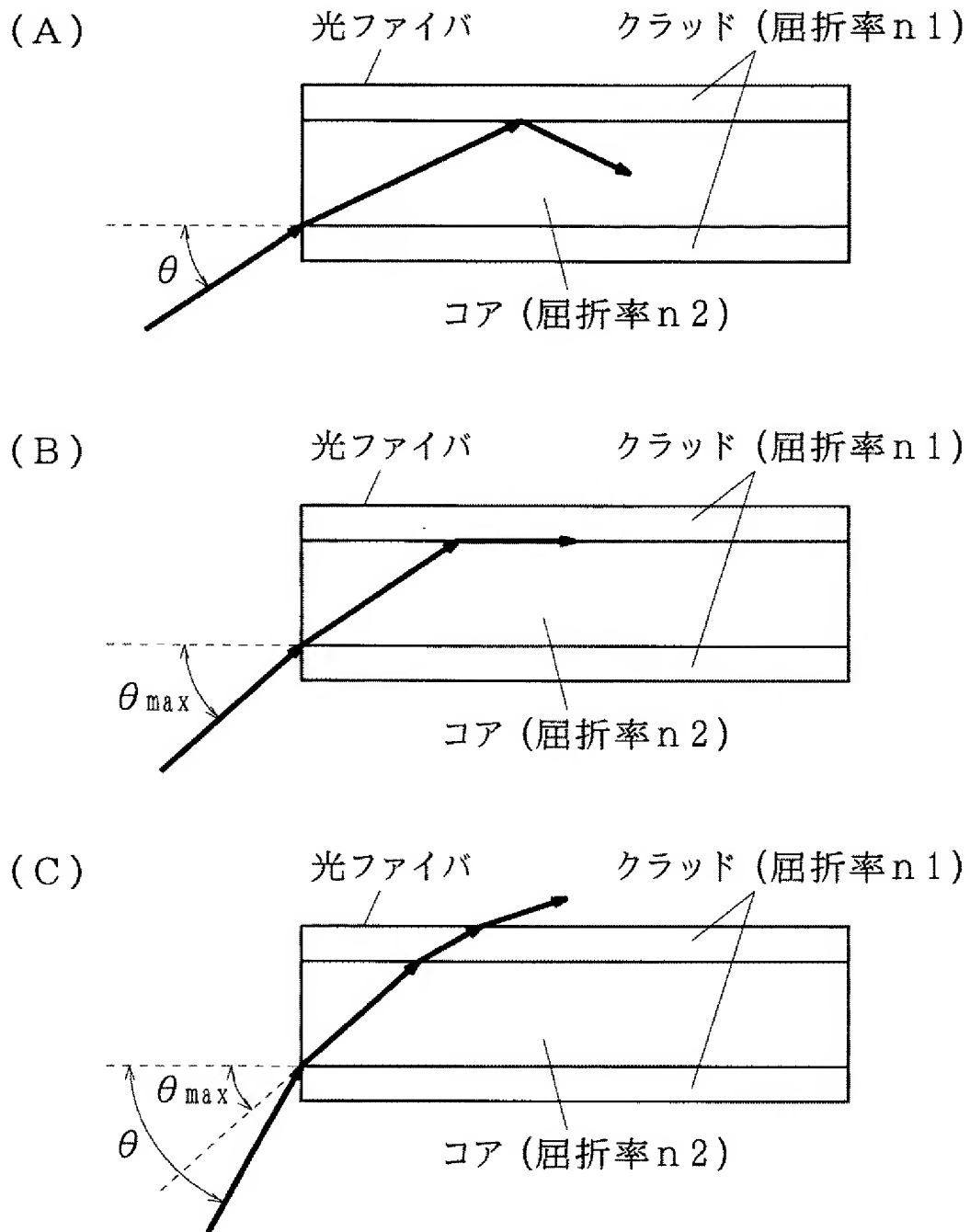
[図6]



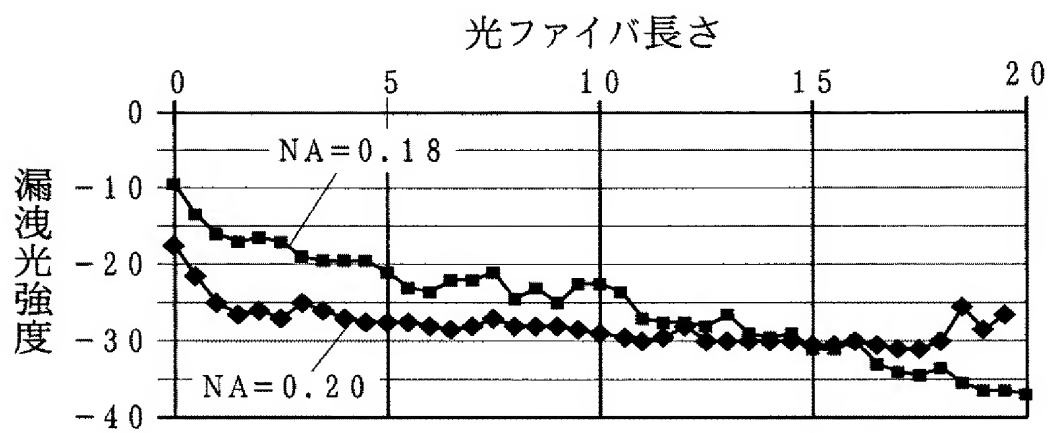
[図7]



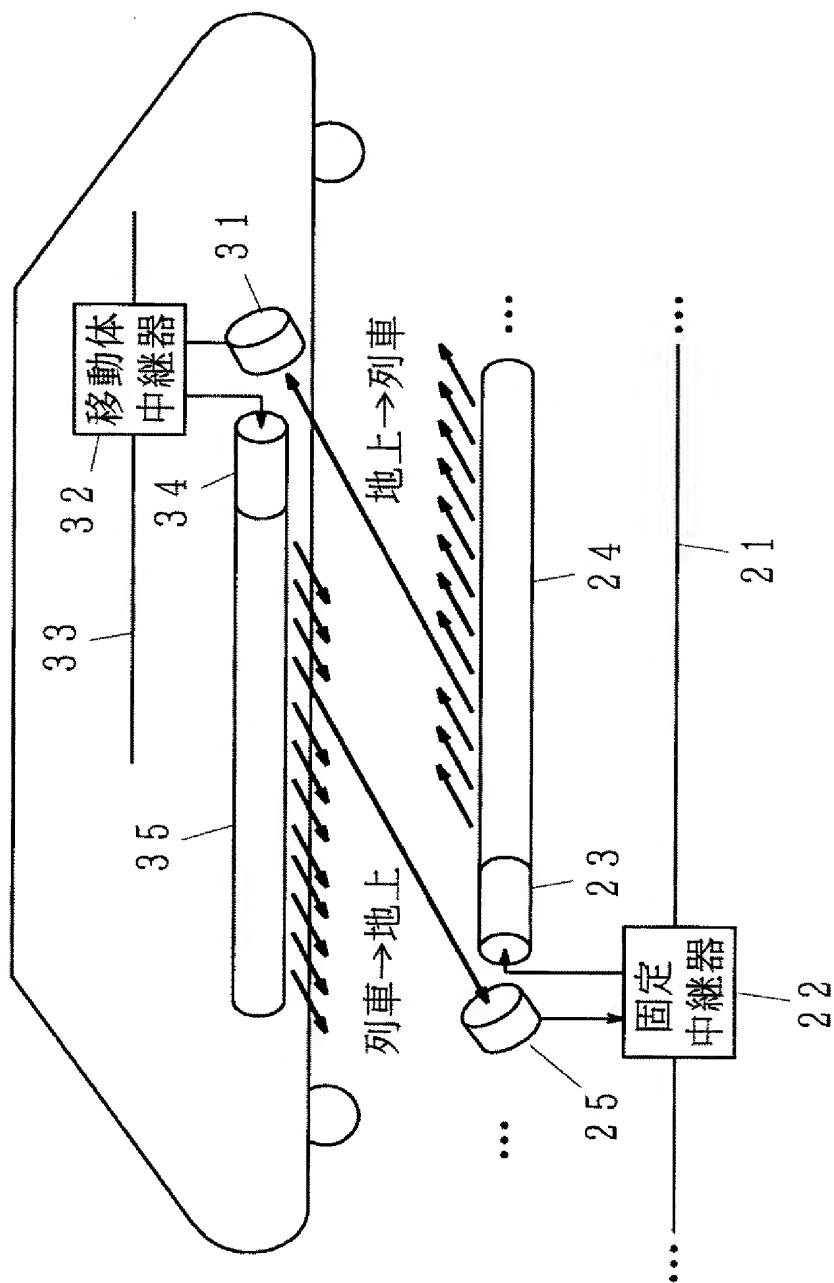
[図8]



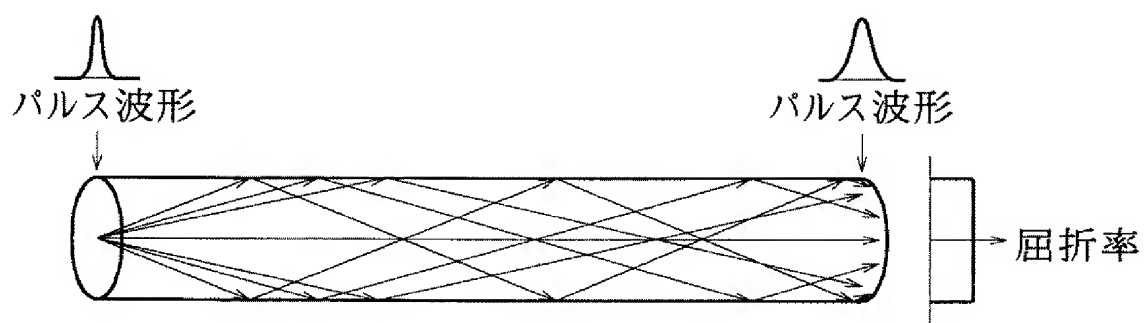
[図9]



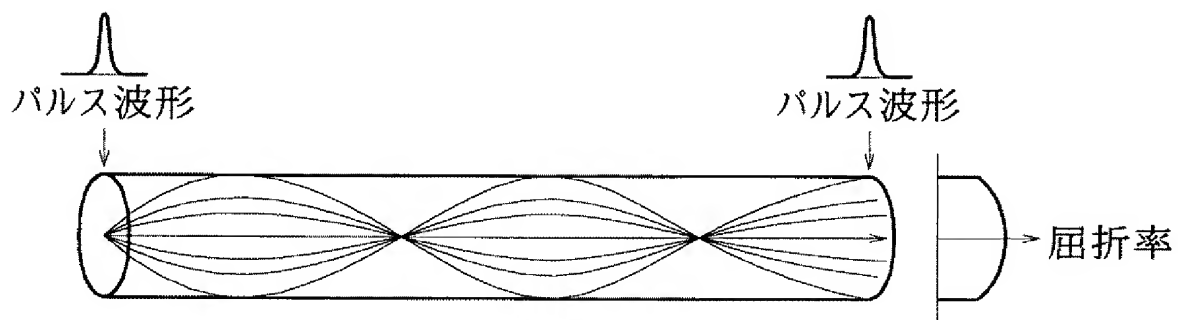
[図10]



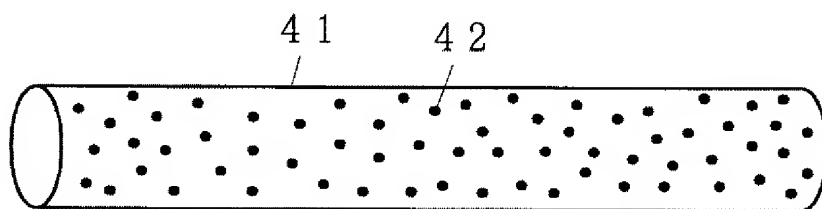
[図11]



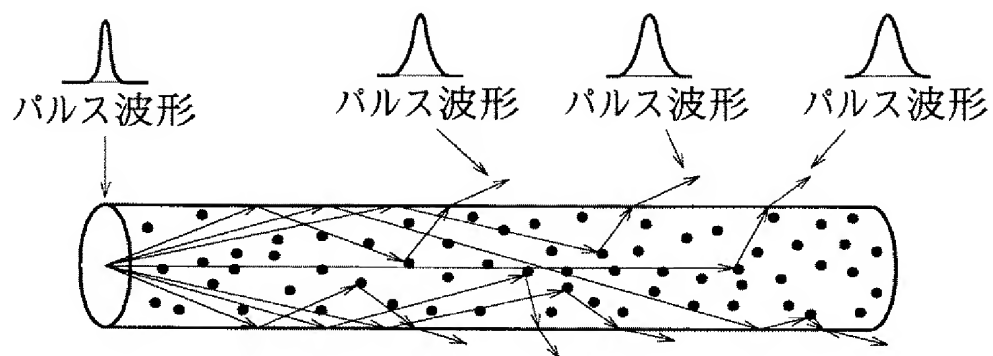
[図12]



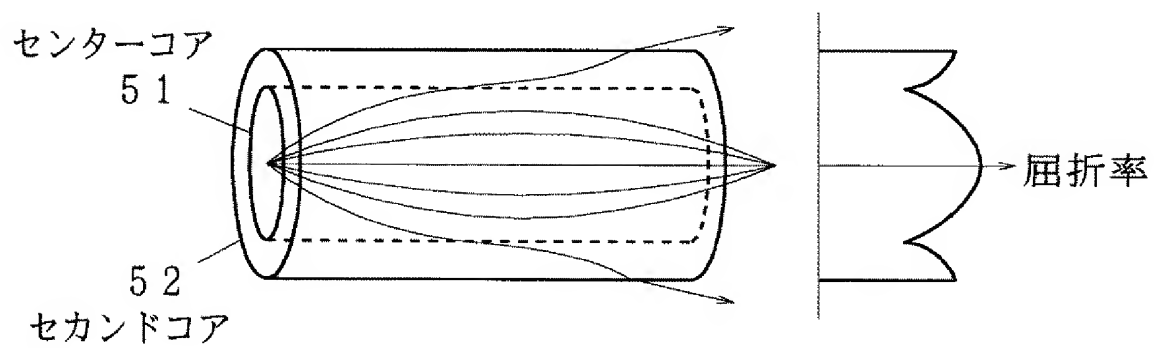
[図13]



[図14]



[図15]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/003769

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl.⁷ H04B10/12, G02B6/42, H04B10/13, 10/135, 10/14

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl.⁷ H04B10/12, G02B6/42, H04B10/13, 10/135, 10/14

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2005
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2005	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2005

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2001-308798 A (Hokuyo Automatic Co., Ltd.), 02 November, 2001 (02.11.01), Claim 1; Figs. 7, 9 (Family: none)	1-5
Y	JP 2001-133652 A (Hitachi Cable, Ltd.), 18 May, 2001 (18.05.01), Claim 1; Fig. 1 (Family: none)	1-6
Y	JP 63-199303 A (Fujikura Densen Kabushiki Kaisha), 17 August, 1988 (17.08.88), Claim 1; Figs. 1 to 3, 5 (Family: none)	2, 6



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T"

later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X"

document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y"

document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&"

document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
31 May, 2005 (31.05.05)Date of mailing of the international search report
21 June, 2005 (21.06.05)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/003769

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2003-18093 A (Hokuyo Automatic Co., Ltd.), 17 January, 2003 (17.01.03), Claim 1; Figs. 1, 2 (Family: none)	1-6
A	JP 5-281393 A (Toshiba Corp.), 29 October, 1993 (29.10.93), Claim 1; Figs. 1, 2 (Family: none)	1-6

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl.⁷ H04B10/12, G02B6/42, H04B10/13, 10/135, 10/14

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl.⁷ H04B10/12, G02B6/42, H04B10/13, 10/135, 10/14

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2005年
日本国実用新案登録公報	1996-2005年
日本国登録実用新案公報	1994-2005年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	JP 2001-308798 A (北陽電機株式会社) 2001.11.02、請求項1、第7、9図 (ファミリーなし)	1-5
Y	JP 2001-133652 A (日立電線株式会社) 2001.05.18、請求項1、第1図 (ファミリーなし)	1-6
Y	JP 63-199303 A (藤倉電線株式会社) 1988.08.17、請求項1、第1-3、5図 (ファミリーなし)	2、6

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

31.05.2005

国際調査報告の発送日

21.6.2005

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)
郵便番号100-8915
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

工藤 一光

5 J

9274

電話番号 03-3581-1101 内線 3536

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	J P 2003-18093 A (北陽電機株式会社) 2003. 01. 17、請求項1、第1、2図 (ファミリーなし)	1-6
A	J P 5-281393 A (株式会社東芝) 1993. 10. 2 9、請求項1、第1、2図 (ファミリーなし)	1-6